



TUGAS AKHIR

PEMODELAN DAN ANALISA ENERGI LISTRIK YANG DIHASILKAN MEKANISME PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA GELOMBANG AIR TIPE *SINGLE* PENDULUM VERTIKAL – PONTON PERAHU MENGUNAKAN METODE *CANTILEVER* *PIEZOELECTRIC*

Disusun oleh :

Rifqiah Sabrina Yusuf
2112 100 065

Pembimbing :

Dr. Wiwiek Hendrowati, ST., MT.

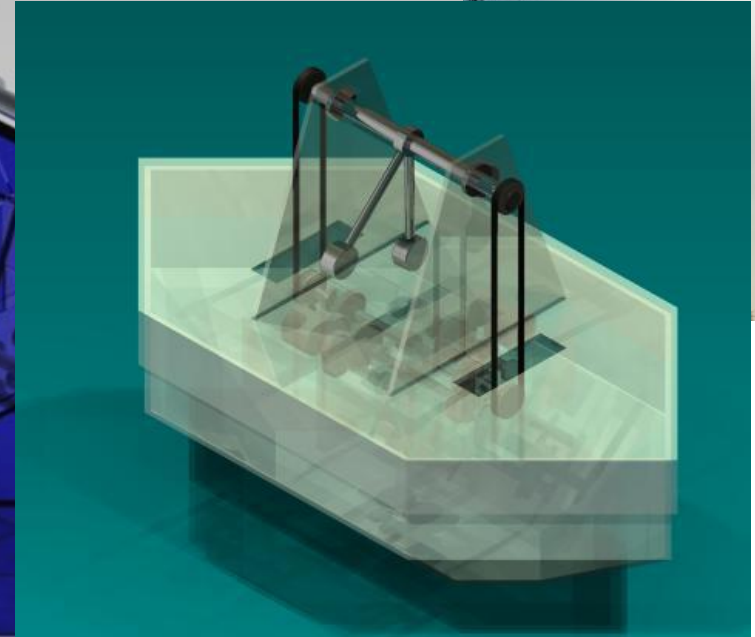
Laboratorium

Vibrasi & Sistem Dinamis



PENDAHULUAN

LATAR BELAKANG



PERUMUSAN MASALAH

1. Bagaimana memodelkan sistem dinamis dari mekanisme PLTGA sistem *single* pendulum vertikal – ponton perahu menggunakan metode *piezoelectric* skala laboratorium
2. Bagaimana mensimulasikan dan menganalisa energi listrik yang dihasilkan mekanisme PLTGA sistem *single* pendulum vertikal – ponton perahu menggunakan metode *piezoelectric*
3. Bagaimana respon perpindahan *piezoelectric* , voltase, arus dan daya yang dihasilkan metode *piezoelectric* dengan variasi massa pendulum, panjang lengan pendulum dan frekuensi gelombang air

BATASAN MASALAH

Pendulum dianggap partikel bermassa dan massa lengan pendulum dianggap terpusat di tengah-tengah.

Poros dianggap kaku, sehingga tidak ada perbedaan untuk besar perpindahan sudut dalam satu poros yang sama.

Pengaruh gesekan torsional pada roda gigi dan blade diabaikan.

Gerakan gelombang air sebagai input pada sistem diasumsikan sinusoidal dalam satu arah.

TUJUAN PENELITIAN

Merancang mekanisme PLTGA Sistem *Single* Pendulum Vertikal – Ponton Perahu dengan menggunakan metode *piezoelectric*.

Memodelkan dan menganalisa energi listrik yang dihasilkan PLTGA Sistem Ponton Perahu - *Single* Pendulum dengan menggunakan metode *piezoelectric*.

MANFAAT PENELITIAN

Sebagai referensi untuk merancang bangun PLTGA Sistem *Single* Pendulum Vertikal – Ponton Perahu.

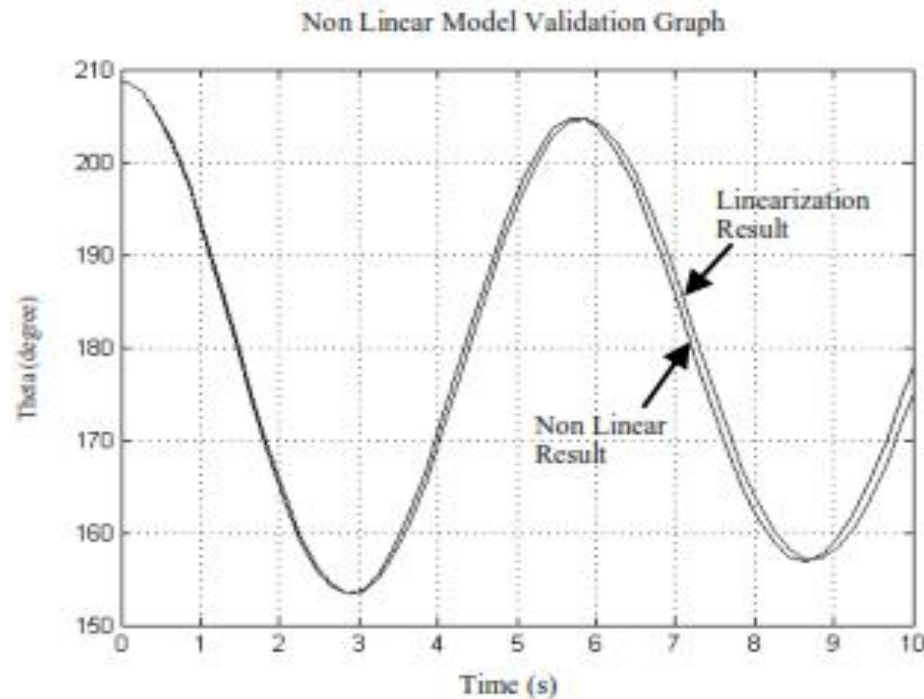
Memberikan data berupa jumlah energi listrik yang dapat dihasilkan oleh PLTGA Sistem *Single* Pendulum – Ponton Perahu dengan menggunakan metode *piezoelectric* secara pemodelan.

Mengetahui parameter-parameter yang dapat meningkatkan keluaran energi listrik pada alat PLTGA Sistem *Single* Pendulum – Ponton Perahu.



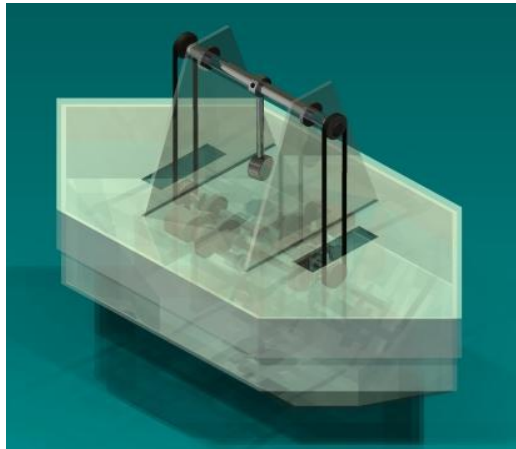
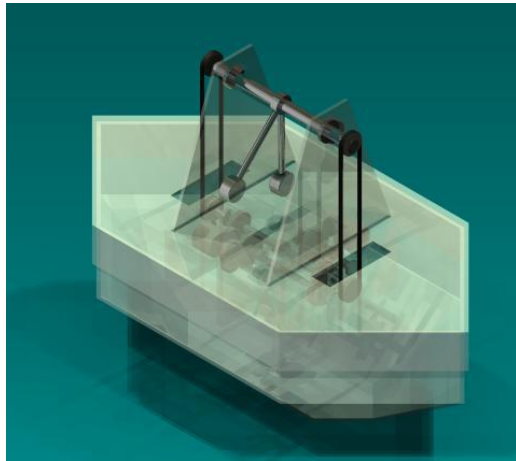
TINJAUAN PUSTAKA

Ardi Noerpamoengkas dkk , 2011



Variasi pemodelan : sudut α (7°), posisi keseimbangan pendulum (0° , 180°) dan sudut simpangan awal (1° , 28.6°)

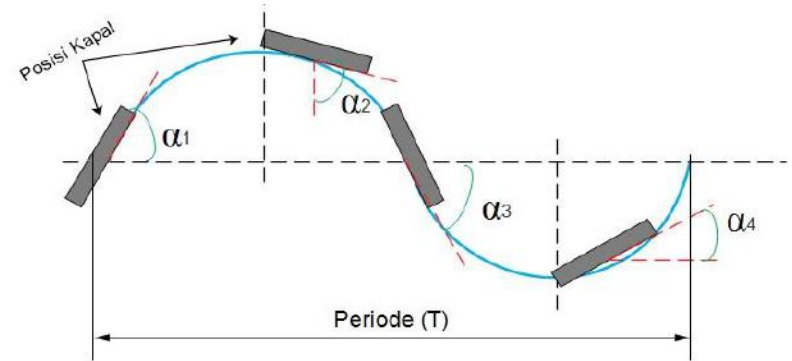
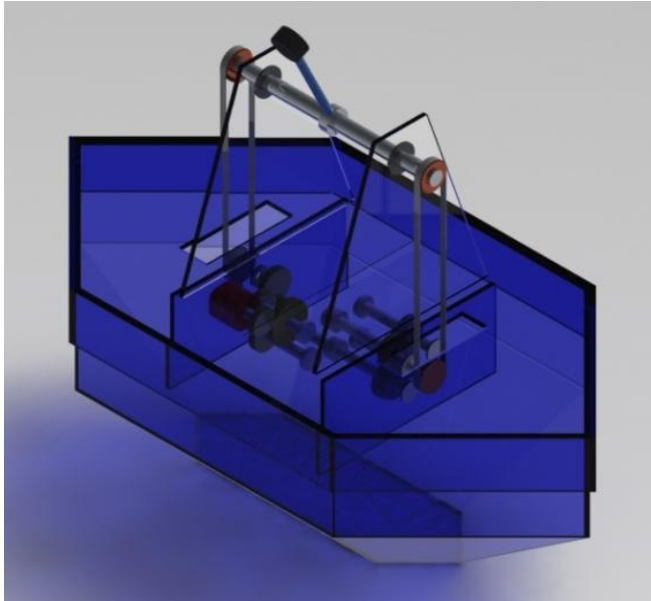
Efraim Rombe, 2015



Variasi penelitian : massa pendulum (175, 200, 225 gr)

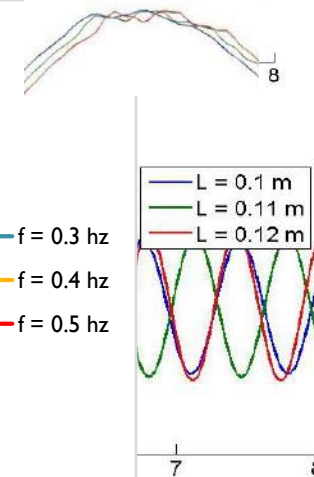
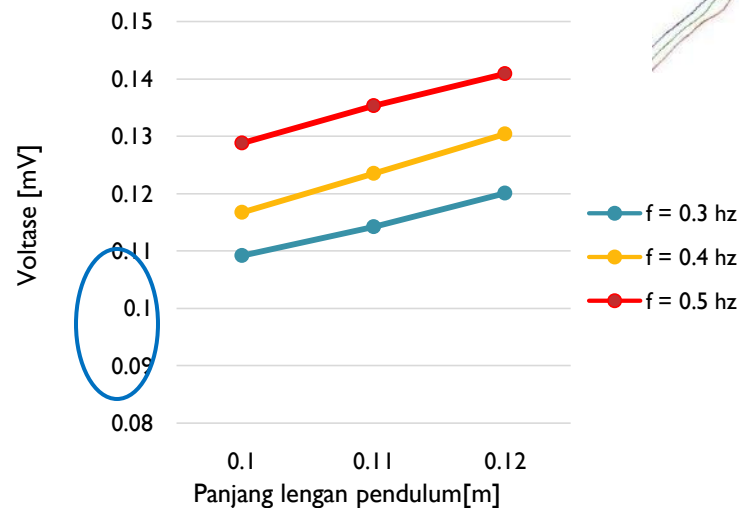
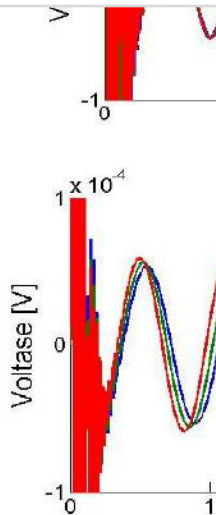
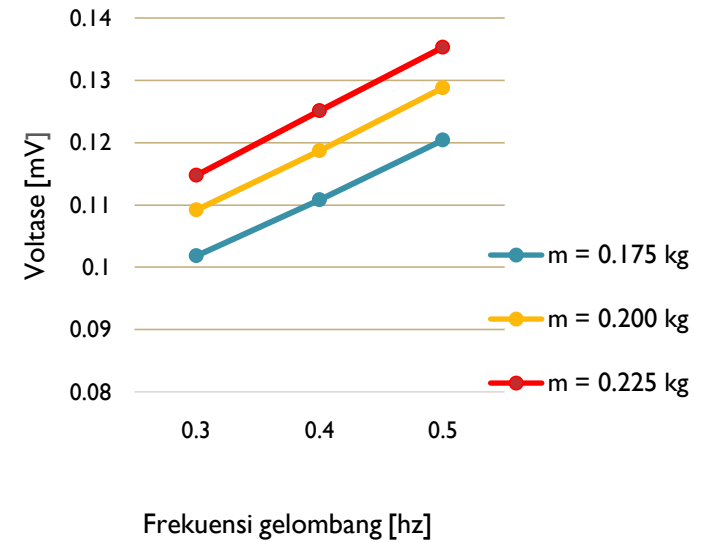
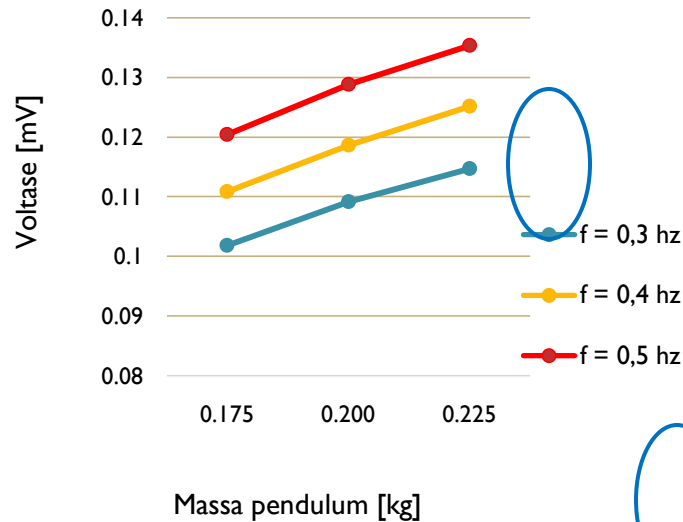
F inv [hz]	Amplitudo [m]	Jumlah Pendulum		Panjang Lengan [cm]	Massa [gr]	Vrms (V)
4	0.012	1		8	175	0.0119
					200	0.0149
					225	0.0178
4		3	massa penyeimbang 25 gram		125	0.0113
					150	0.0121
					175	0.0156
4		3	massa penyeimbang 50 gram		75	0.0081
					100	0.0095
					125	0.014

Saifudin Nur, 2015

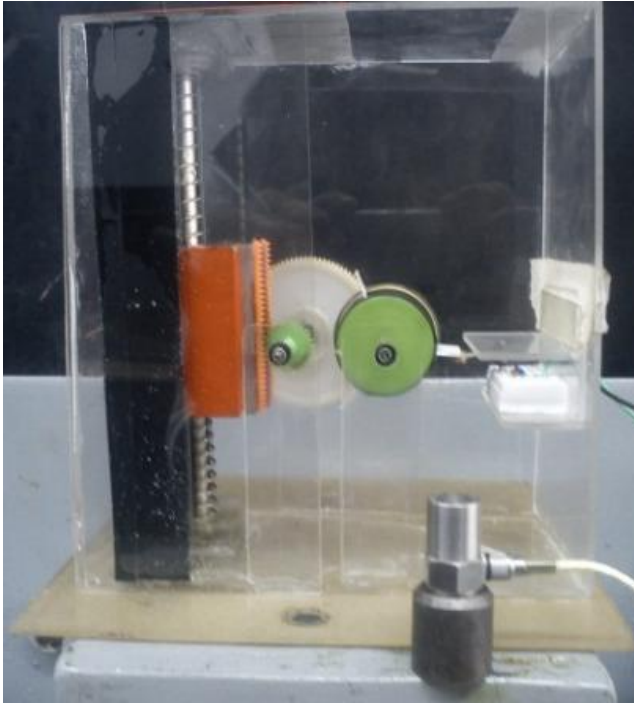


- Variasi pemodelan: frekuensi gelombang laut (0.3, 0.4, dan 0.5 Hz), panjang lengan pendulum (10, 11, dan 12 cm) dan massa pendulum (175, 200, dan 225 gr)

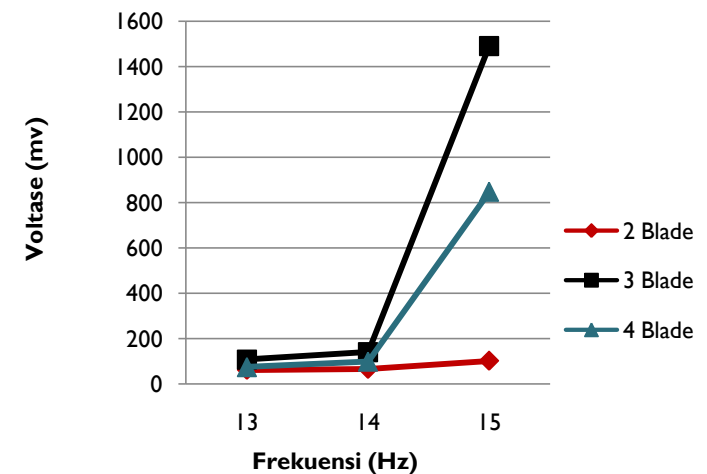
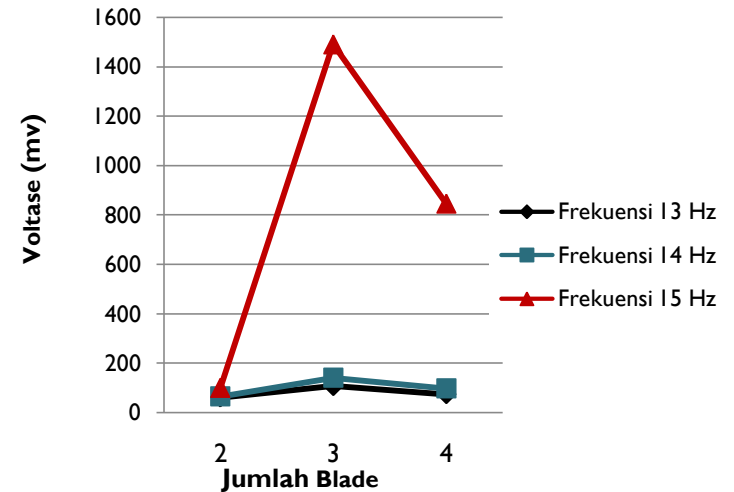
Saifudin Nur, 2015



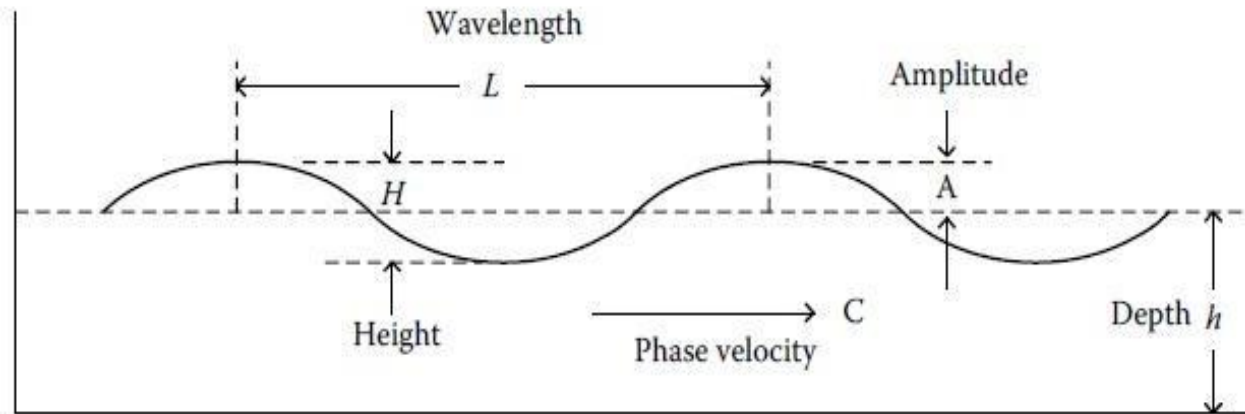
Gusti Fajar Romano, 2015



Variasi penelitian : jumlah blade (2, 3, dan 4 buah) dan frekuensi sumber (13, 14, 15 Hz)



Gaya Gelombang Air



$$F_w = \frac{\rho \cdot g^2 \cdot H^2 \cdot T^2 \cdot b}{32\pi\lambda}$$

Dimana :

ρ = densitas air (1000 kg/m³)

g = percepatan gravitasi (9.8 m/s²)

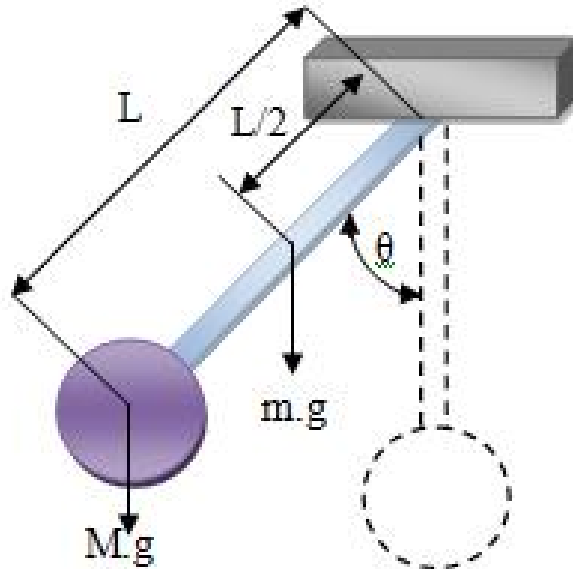
H = tinggi gelombang (m)

λ = panjang gelombang (m)

T = periode gelombang (s)

b = lebar alat yang terkena gelombang (m)

Pendulum



Keterangan

ω_n = frekuensi natural (rad/s)
 M = berat bandul (kg)
 m = berat lengan bandul (kg)
 g = gaya gravitasi (9.8 m/s²)
 L = panjang lengan bandul (m)

$$\Sigma Mo = I \ddot{\theta}$$

$$-M \cdot g \cdot L \sin \theta - m \cdot g \cdot \frac{L}{2} \sin \theta = (I_m + I_M) \ddot{\theta}$$

dimana

$$I_m = \frac{1}{3} mL^2$$

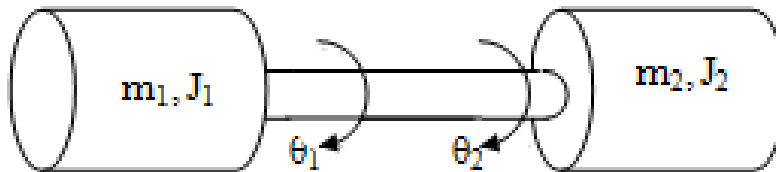
$$I_M = ML^2$$

Sehingga persamaan frekuensi natural:

$$\omega_n = \sqrt{\frac{k}{m}} = \sqrt{\frac{\left(M + \frac{m}{2}\right) \cdot g \cdot L}{\left(M + \frac{m}{3}\right) \cdot L^2}}$$

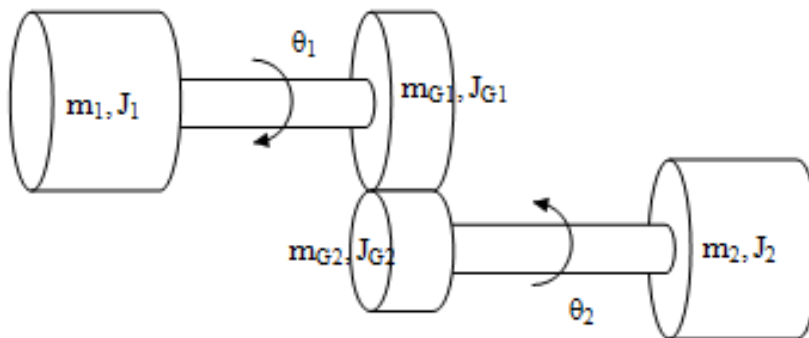
Momen Inersia Gabungan

Kopling langsung



$$I_{Total} = J_1 + J_2$$

Kopling melalui roda gigi

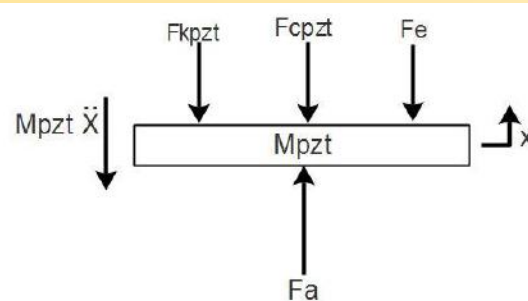
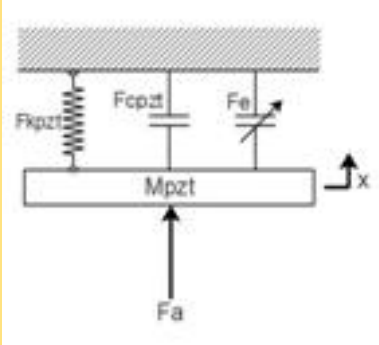


$$I_{Total} = \left[J_1 + J_{G1} + (J_{G2} + J_2) \left(\frac{1}{N} \right)^2 \right]$$

Dengan gear ratio:

$$\frac{\theta_1}{\theta_2} = \frac{\dot{\theta}_1}{\dot{\theta}_2} = \frac{r_2}{r_1} = N$$

Free body diagram piezoelectric



$$F_a = M_{pzt} \ddot{x} + F_{cpzt} + F_{kpzt} + F_e$$

$$F_a(t) = M_{pzt} \ddot{x}(t) + C_{pzt} \dot{x}(t) + k_{pzt} x(t) + \Theta V_p(t)$$

keterangan:

F_a = gaya eksitasi (N)

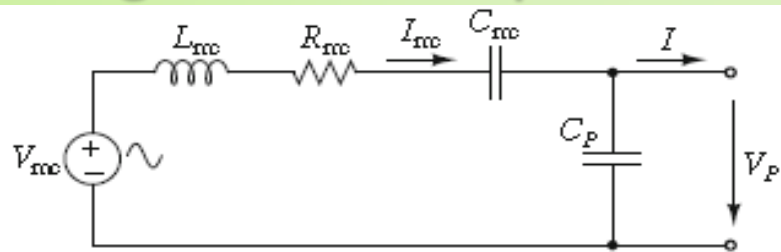
M_{pzt} = massa piezoelectric (kg)

C_{pzt} = damping dari cantilever beam (N.s/m)

k_{pzt} = konstanta pegas piezoelectric (N/m)

Θ = coupling factor

Rangkaian listrik piezoelectric



$$V_p = \frac{3 d_{31} E w t x_p}{4 C}$$

$$V_{mc} = L_{mc} \frac{d I_{mc}}{dt} + \frac{1}{C_{mc}} \int I_{mc} dt + V_p$$

V_{mc} = sumber tegangan / gaya input (V)

L_{mc} = induktansi (H)

R_{mc} = resistansi (ohm)

C_{mc} = kapasitansi (F)

I_{mc} = arus (A)

V_p = Tegangan bangkitan (V)

d_{31} = Konstanta Regangan *Piezoelectric* (C/N)

E = Modulus Young (N/m²)

w = Lebar Material *Piezoelectric* (m)

t = Tebal Material *Piezoelectric* (m)

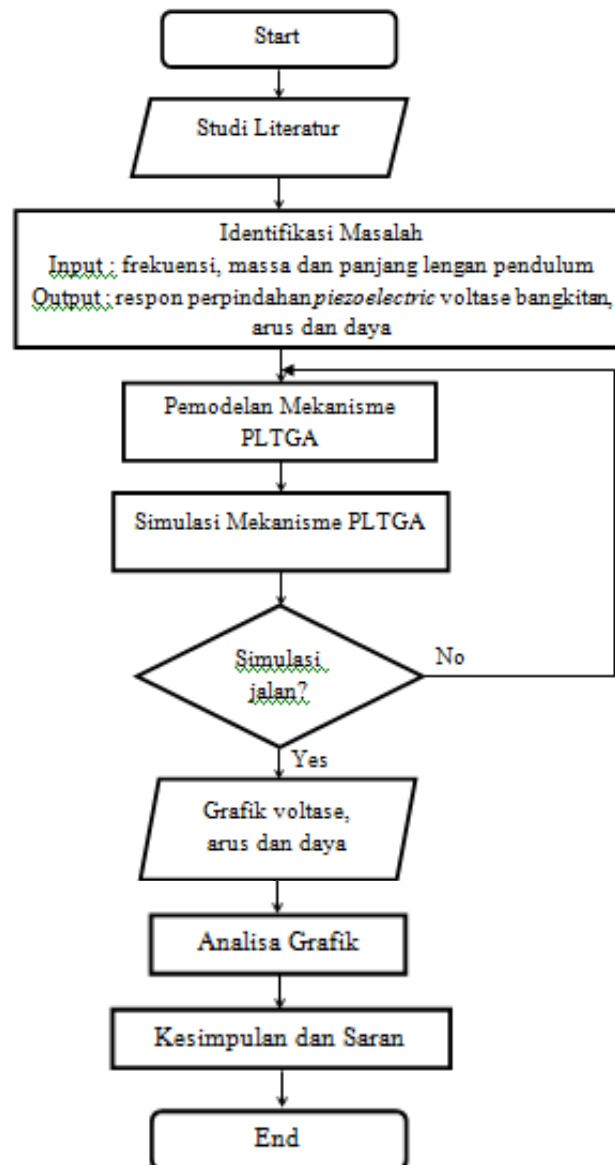
x_p = Defleksi Material *Piezoelectric* (m)

C = Kapasitansi Material *Piezoelectric* (F)

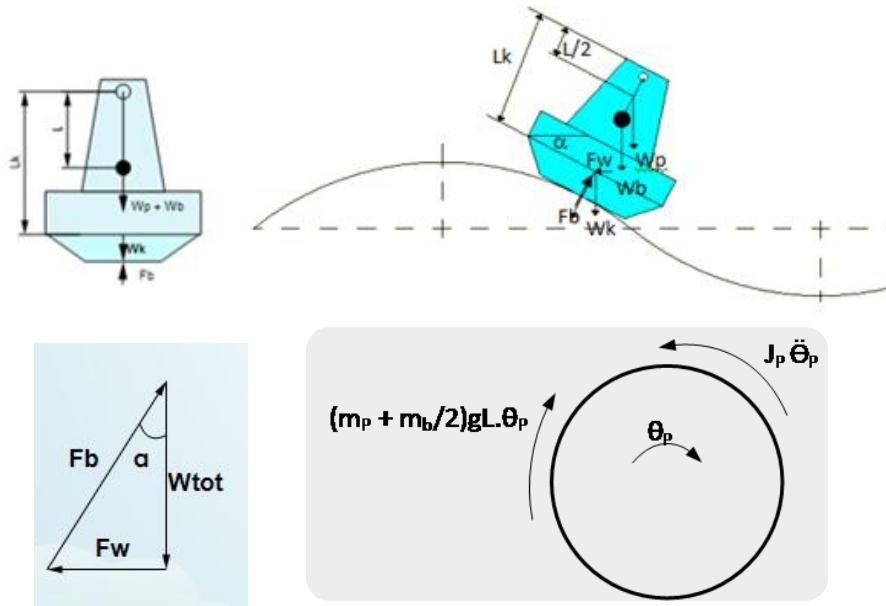


METODE PENELITIAN

Flowchart Penelitian



Pemodelan Pendulum



Keterangan :

- W_p = berat pendulum (N)
- W_b = berat lengan pendulum (N)
- W_k = berat ponton kapal (N)
- $W_{tot} = W_p + W_b + W_k$
- L = panjang lengan pendulum (m)
- L_k = tinggi titik rotasi pendulum (m)
- F_b = buoyancy force (N)
- F_w = wave force (N)
- α = sudut kemiringan kapal (rad)
- θ_p = sudut kemiringan pendulum (rad)
- J_p = momen inersia pendulum (kg.m^2)

$$\sum M_o = J \ddot{\theta}$$

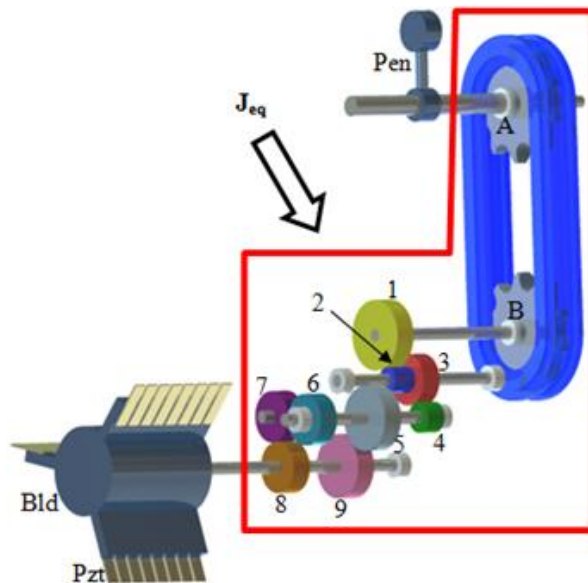
saat berputar CW

$$(M_p + \frac{1}{2} M_b) g L \cdot \theta_p - \left(\frac{1}{3} M_b + M_p \right) L^2 \cdot \ddot{\theta}_p = 2C_p (\dot{\theta}_p - \dot{\theta}_g) + K_p (\theta_p - \theta_g)$$

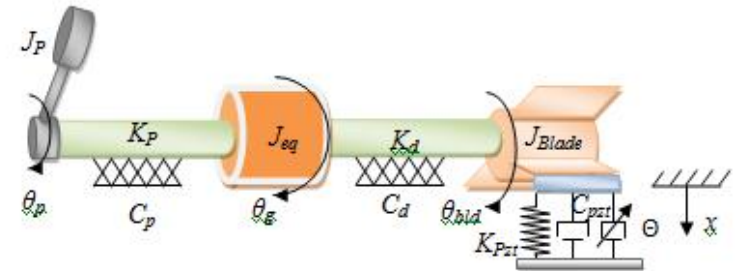
saat berputar CCW

$$(M_p + \frac{1}{2} M_b) g L \cdot \theta_p - \left(\frac{1}{3} M_b + M_p \right) L^2 \cdot \ddot{\theta}_p = 2C_p (\dot{\theta}_p + \dot{\theta}_g) + K_p (\theta_p + \theta_g)$$

Sistem PLTGA



Model Mekanis PLTGA



Model Dinamis PLTGA

CW

$$J_{eq} = J_A(N_1N_2N_3N_4)^2 + J_B(N_1N_2N_3N_4)^2 + J_1(N_1N_2N_3N_4)^2 + J_{23}(N_2N_3N_4)^2 + J_4(N_3N_4)^2 + J_6(N_3N_4)^2 + J_7N_4^2 + J_8$$

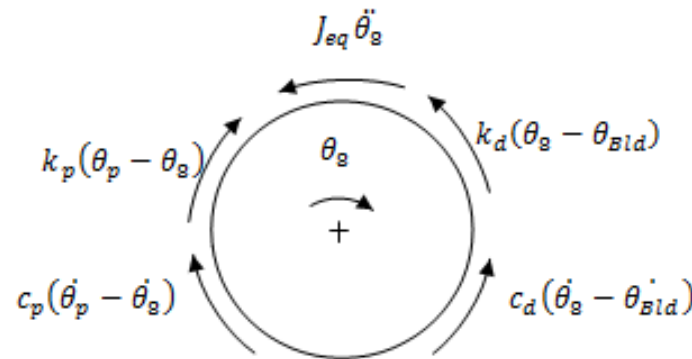
CCW

$$J_{eq} = J_A(N_1N_2N_5)^2 + J_B(N_1N_2N_5)^2 + J_1(N_1N_2N_5)^2 + J_{23}(N_2N_5)^2 + J_4N_5^2 + J_5N_5^2 + J_9$$

Free Body Diagram Gearbox

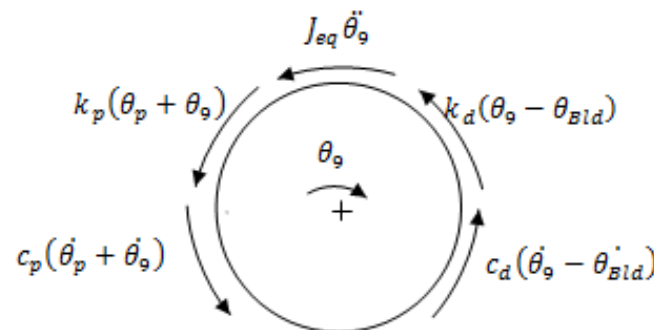


- CW



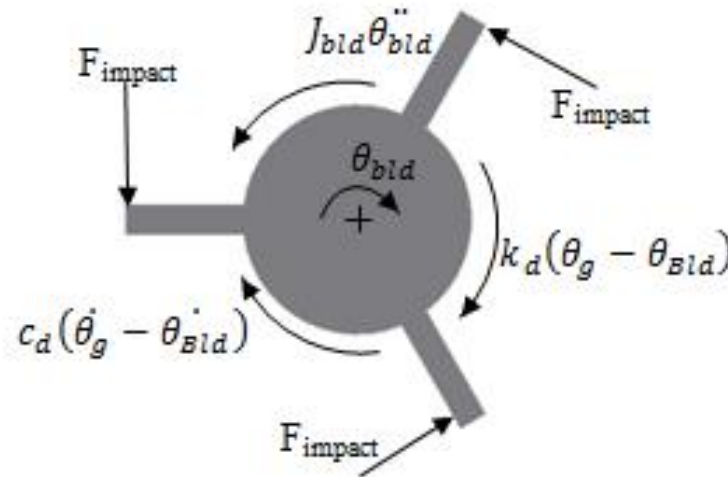
$$J_{eq} \ddot{\theta}_s + (c_d + c_p) \dot{\theta}_s + (k_d + k_p) \theta_s - c_p \dot{\theta}_p - c_d \dot{\theta}_{Bld} - k_p \theta_p - k_d \theta_{Bld} = 0$$

- CCW



$$J_{eq} \ddot{\theta}_9 + (c_d + c_p) \dot{\theta}_9 + (k_d + k_p) \theta_9 + c_p \dot{\theta}_p - c_d \dot{\theta}_{Bld} + k_p \theta_p - k_d \theta_{Bld} = 0$$

Free body diagram blade



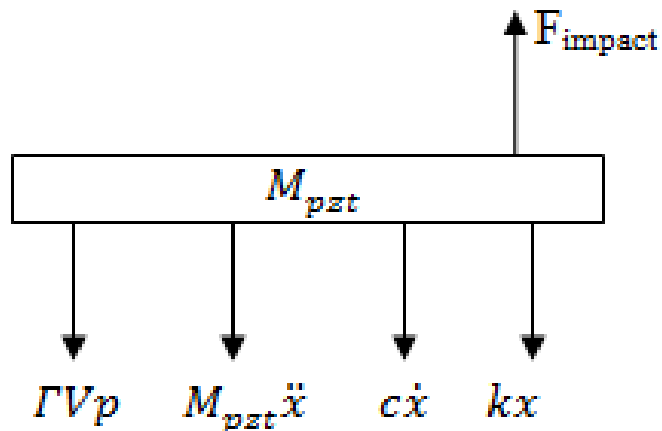
- Persamaan mekanis *blade* adalah sebagai berikut
- saat berputar CW

$$J_{bld}\ddot{\theta}_{bld} - c_d(\dot{\theta}_g - \dot{\theta}_{Bld}) - k_d(\theta_g - \theta_{Bld}) + n_1 n_2 F_{impact} R_{blade} = 0$$

- saat berputar CCW

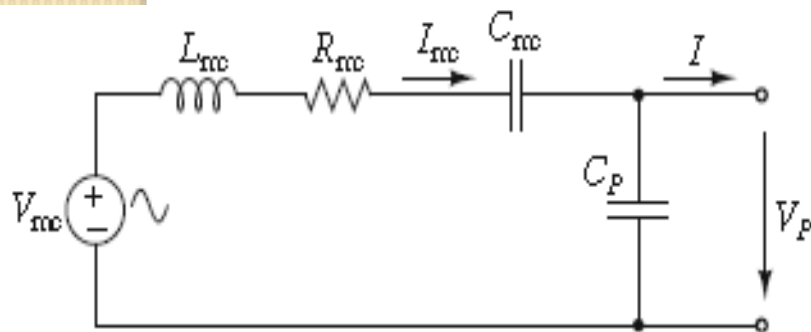
$$J_{bld}\ddot{\theta}_{bld} - c_d(\dot{\theta}_g - \dot{\theta}_{Bld}) - k_d(\theta_g - \theta_{Bld}) + n_1 n_2 F_{impact} R_{blade} = 0$$

Free body diagram piezoelectric



$$F_{\text{impact}} = M_{pzt} \ddot{x} + c \dot{x} + kx + \Gamma V_p$$

Persamaan elektrik piezoelectric



$$V_{mc} = L_{mc} \frac{d I_{mc}}{dt} + \frac{1}{C_{mc}} \int I_{mc} dt + V_p$$

$$V_p = \frac{3 d_{31} E w t x_p}{4 C}$$

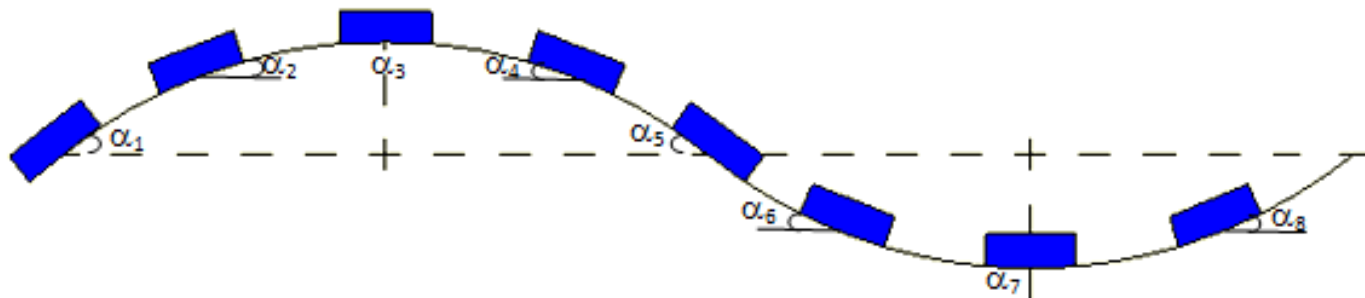


ANALISA & PEMBAHASAN

Parameter

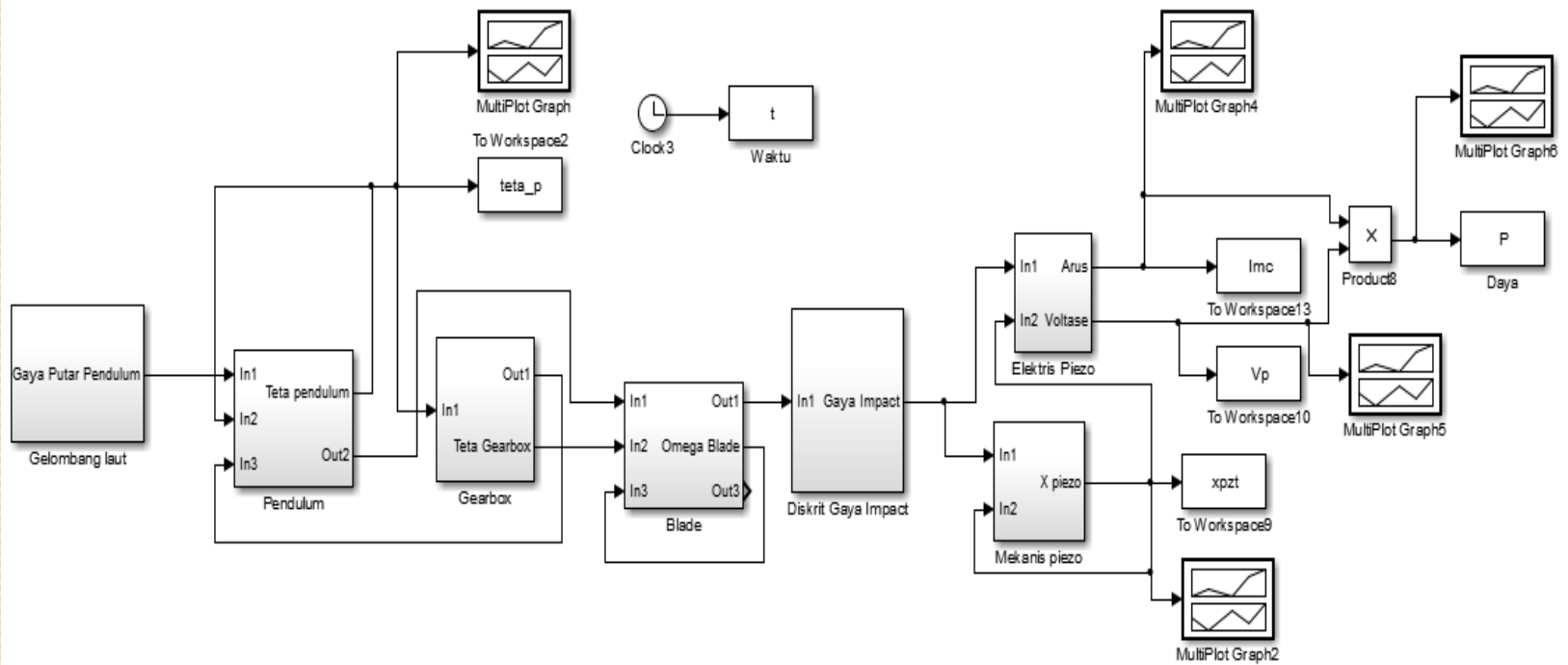
Parameter		Simbol	Nilai	Satuan	diameter poros (d) [m]	panjang poros (L) [m]		
Momen Inersia		J _{bld}	2.45 x 10 ⁻⁶	Kg.m ²				
Jari-jari Blade		R _{bld}	1.75 x 10 ⁻²	m				
Massa Blade		M _{bld}	0.016	kg				
Poros p	Kp ₂	602,0062			0,0080	0,046		
Poros d	Kd ₁	791,2082			Parameter	Simbol	Nilai	Satuan
Poros d	Kd ₂	359,6401						
Kode Uji		J ₂	3,44					
Parameter								
Massa pendulum					Massa piezoelectric	M _{pzt}	6 x 10 ⁻⁴	Kg
Massa ponton perahu					Ketebalan	t	110 x 10 ⁻⁶	m
Massa bandul					Lebar piezoelectric	w _{pzt}	6 x 10 ⁻⁴	m
Panjang lengan pendulum					Panjang piezoelectric	L _{pzt}	17.8 x 10 ⁻³	m
					Kapasitansi	C _{pzt}	244 x 10 ⁻¹²	F
					Konstanta regangan piezoelectric	d ₃₁	23 x 10 ⁻¹²	C/N
					Electromechanical coupling factor	k ₃₁	12	%
					Kontanta pegas piezoelectric	k _{pzt}	1,75 X 10 ⁻¹	N/m
					Modulus Young	E	4 x 10 ⁹	N/m ²
Stroke [cm]	f inverter [hz]	Gelombang			26	m		
		f [hz]	A [m]	Periode [s]				
10	3	0.3	0.0098	3.33	0,0184			
	4	0.4	0.0120	2.50	0,0250			
	5	0.5	0.0136	2.00				

Posisi Ponton

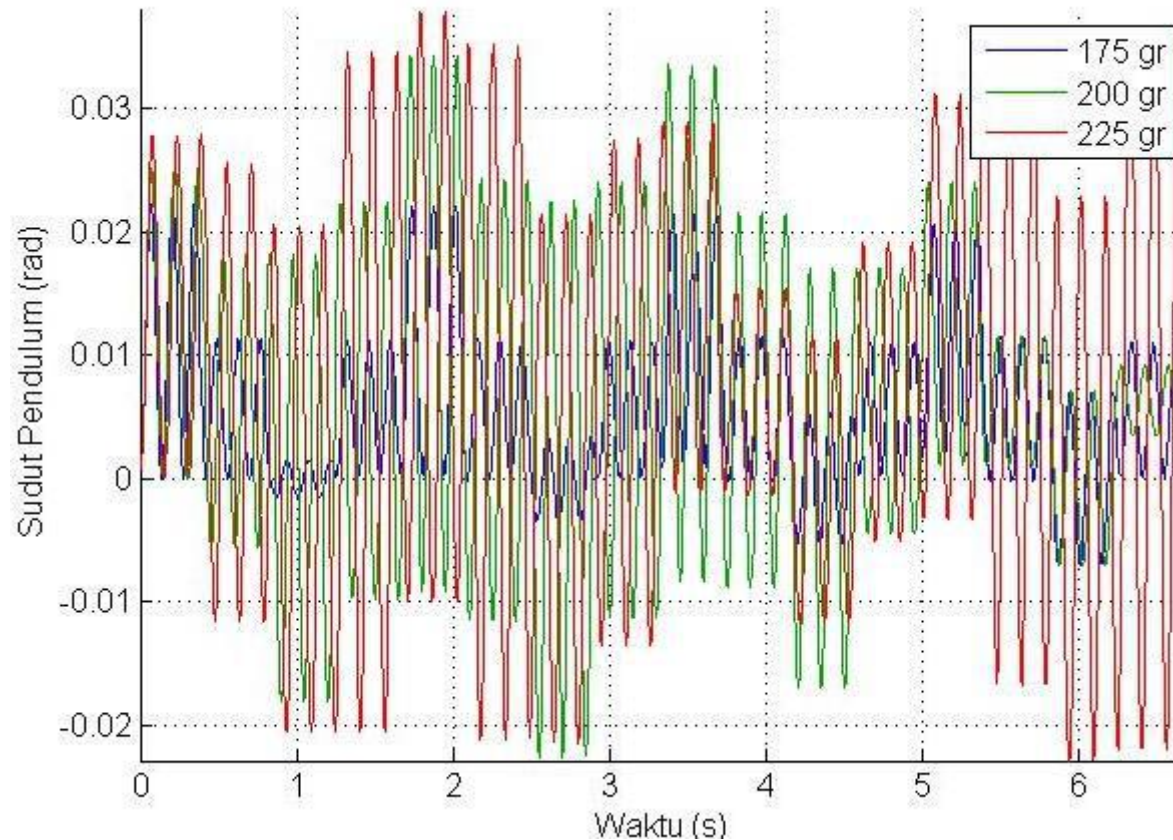


Gelombang												
f [hz]	A [cm]	T [s]	ρ air [kg/m ³]	g [m/s ²]	Sudut Alfa [rad]							
					α_1	α_2	α_3	α_4	α_5	α_6	α_7	α_8
0.3	0.98	3.33	1000	9,8	0.267	0.133	0	0.133	0.267	0.133	0	0.133
0.4	1.20	2.50			0.293	0.146	0	0.146	0.293	0.146	0	0.146
0.5	1.36	2.00			0.317	0.158	0	0.158	0.317	0.158	0	0.158

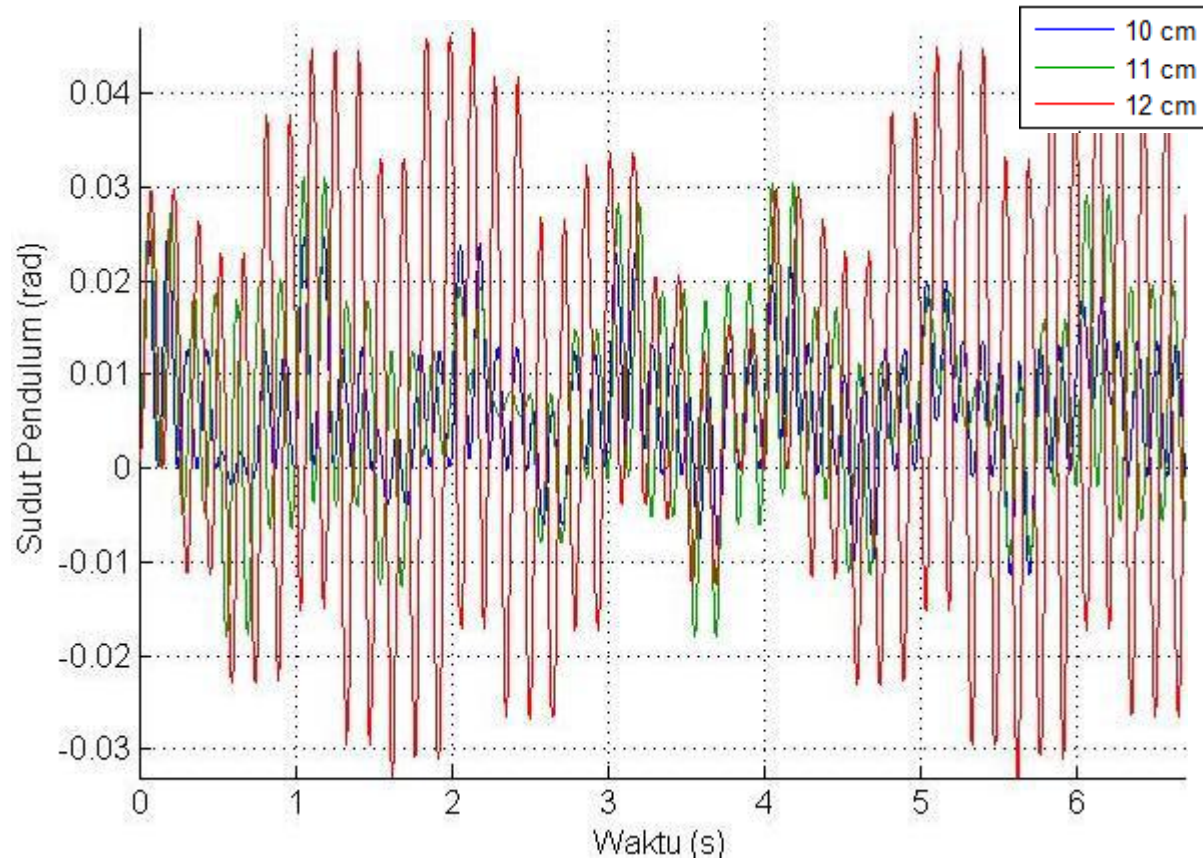
Pemodelan



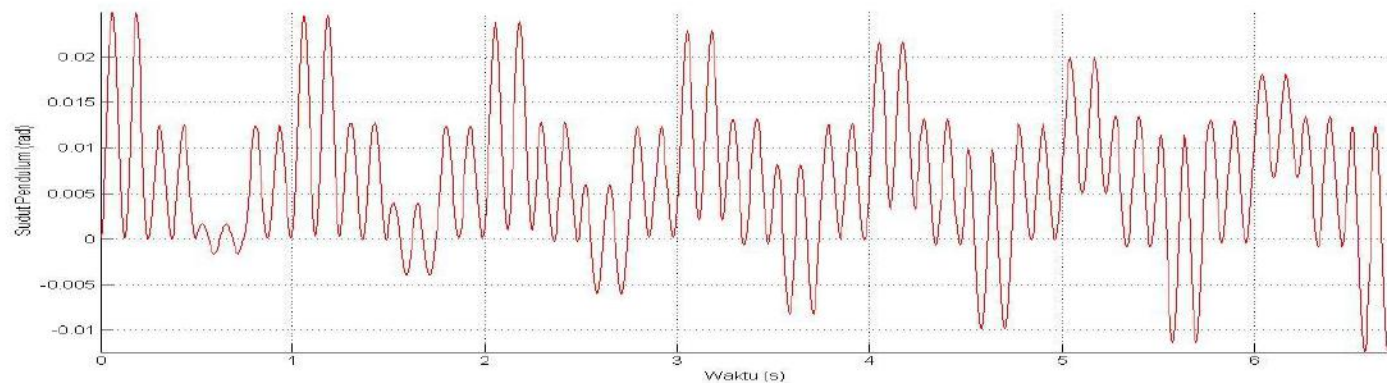
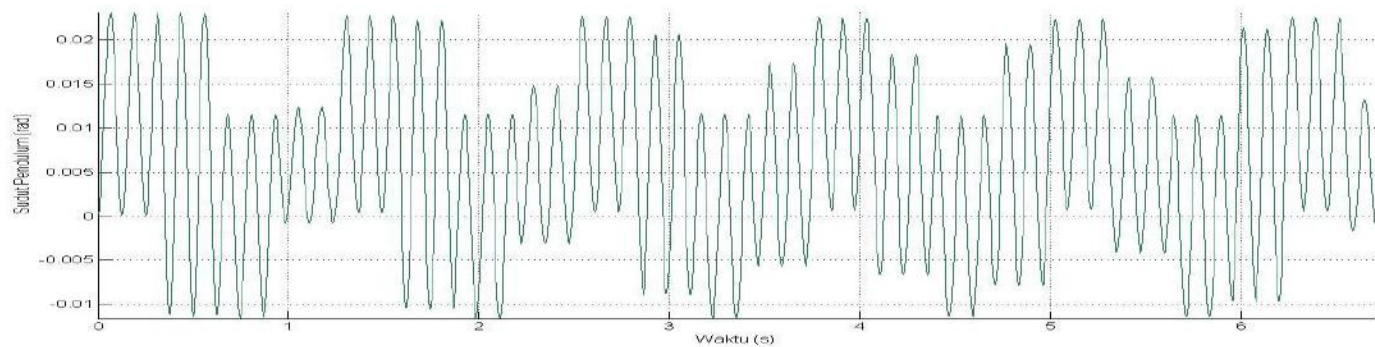
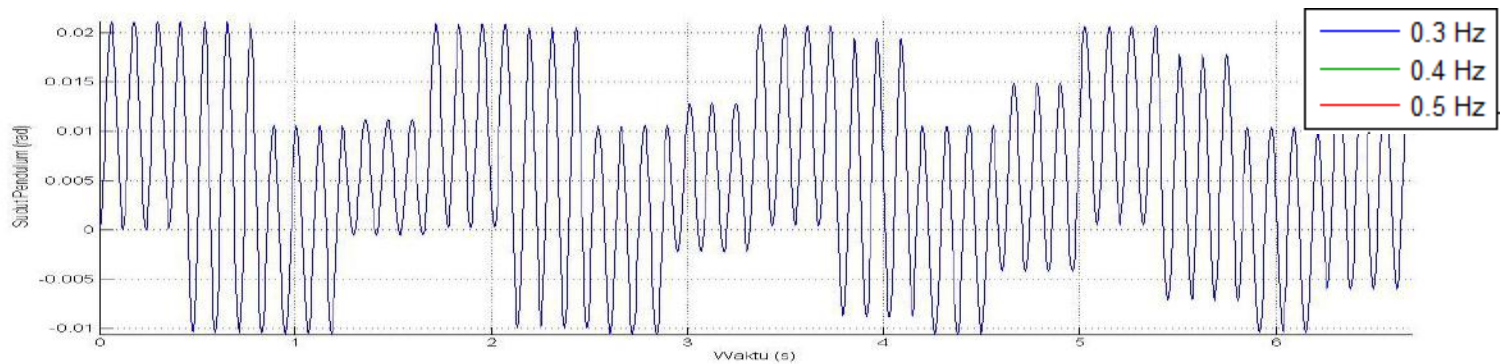
Grafik Respon θ_p Variasi Massa Pendulum



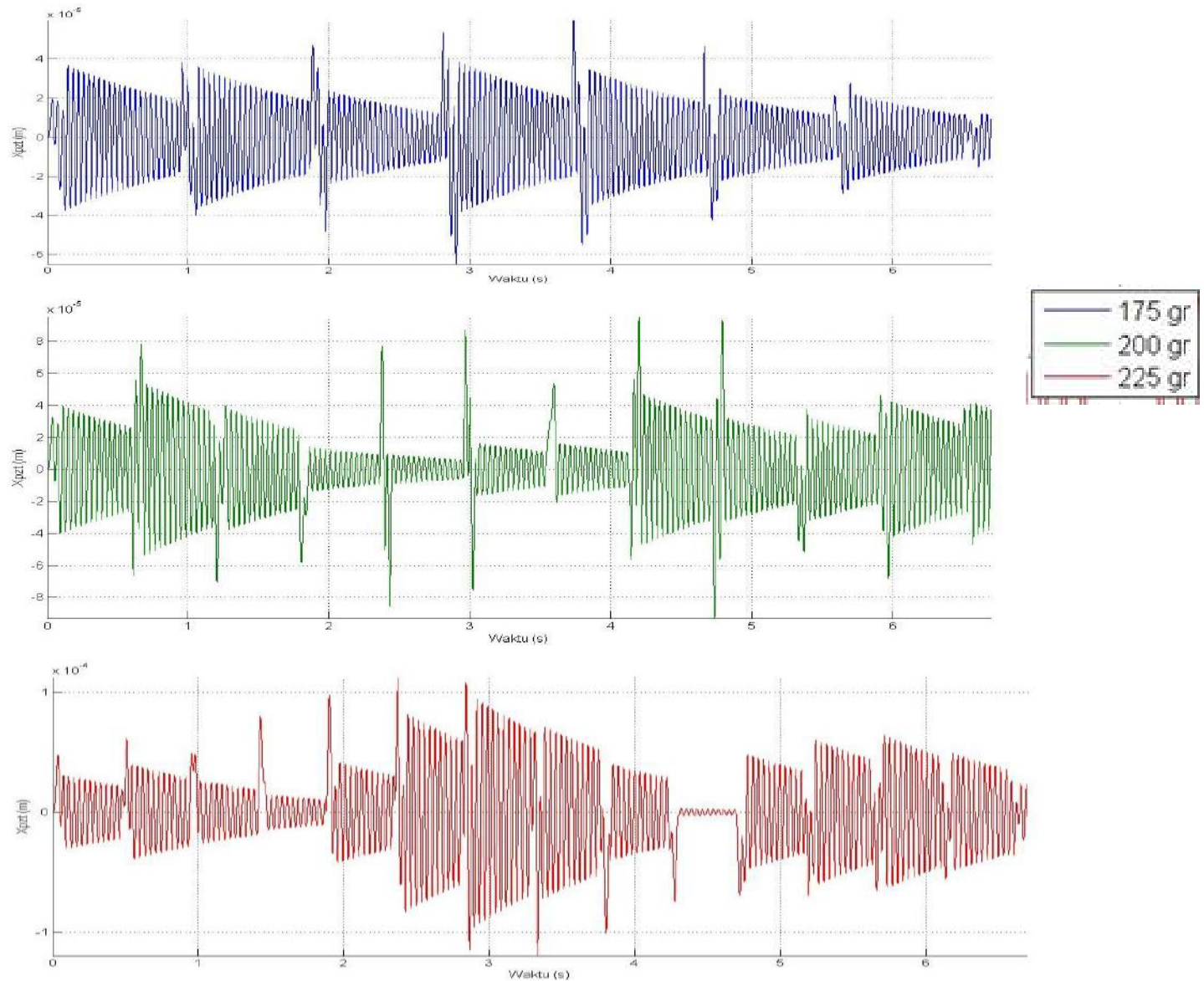
Grafik Respon θ_p Variasi Panjang Lengan Pendulum



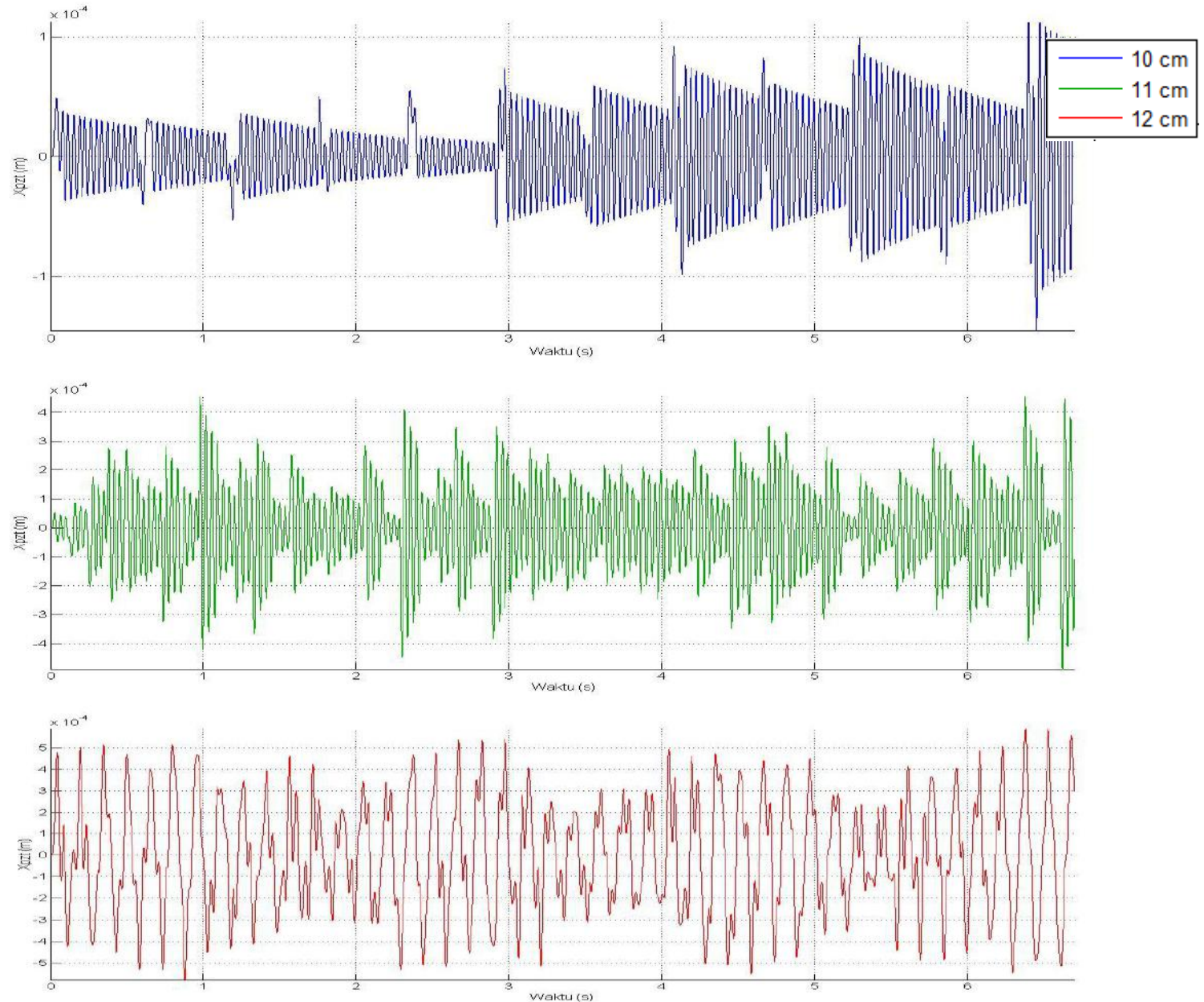
Grafik Respon θ_p Variasi Frekuensi Gelombang Air



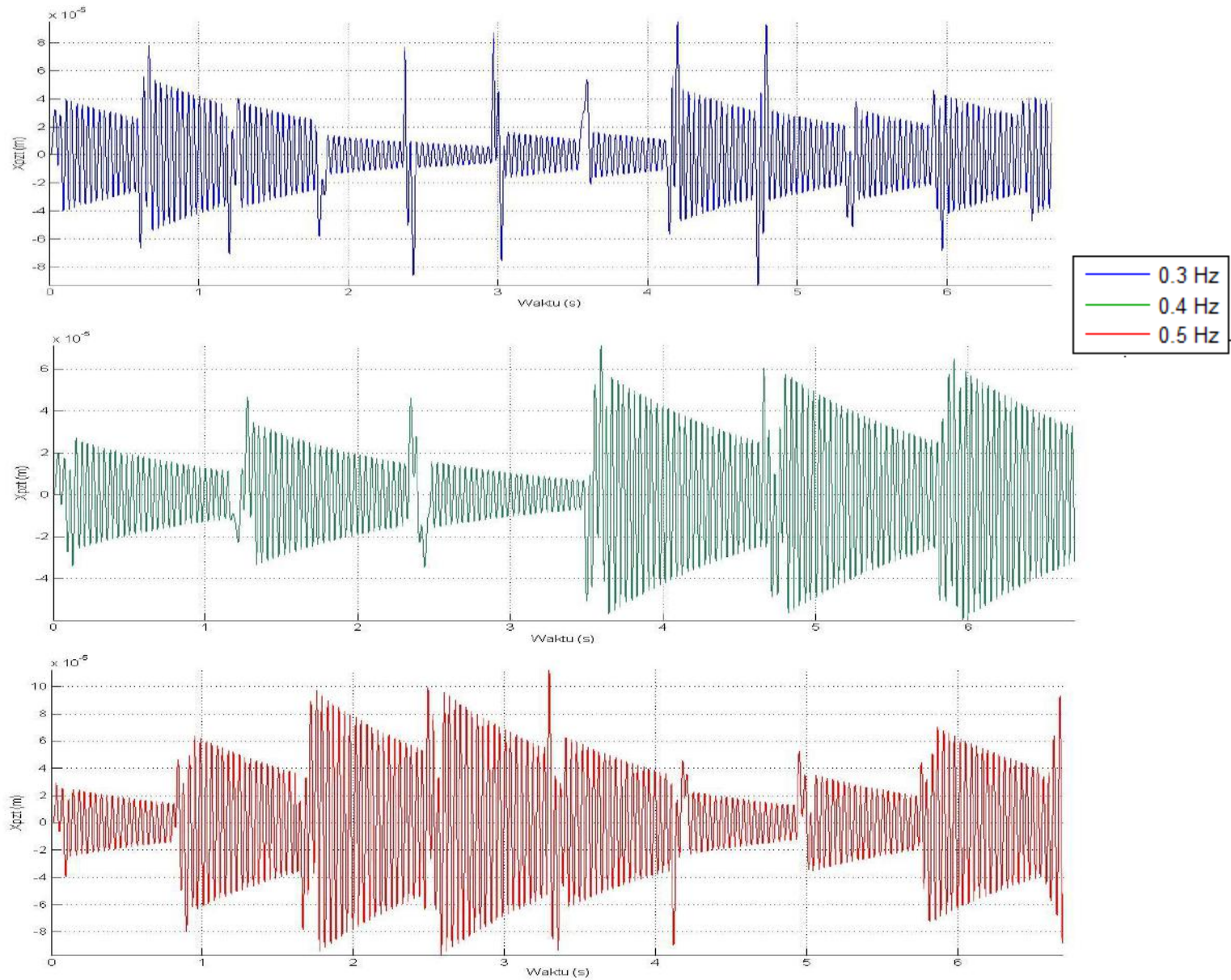
Grafik X_{pzt} Variasi Massa Pendulum



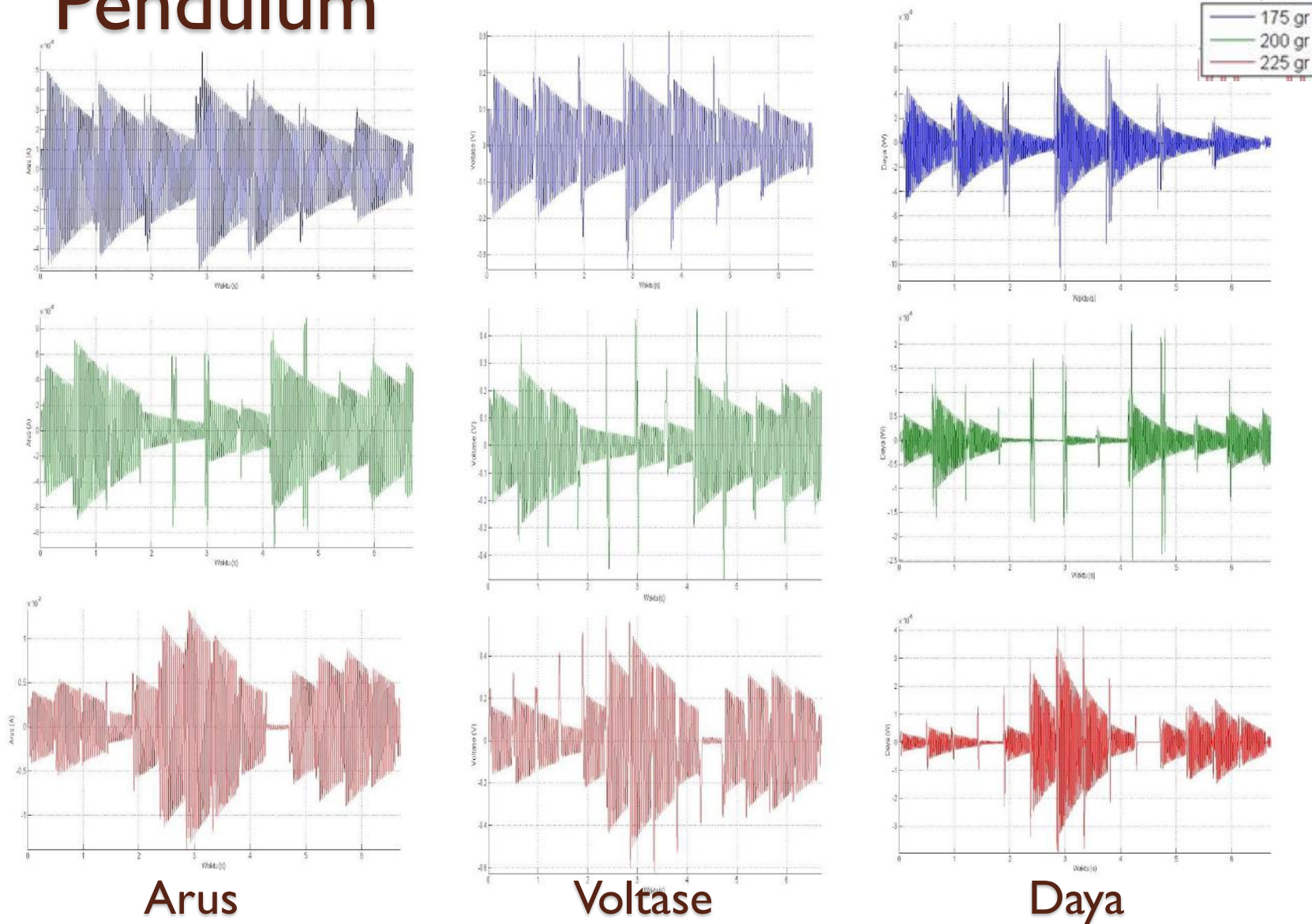
Grafik X_{pzt} Variasi Panjang Lengan Pendulum



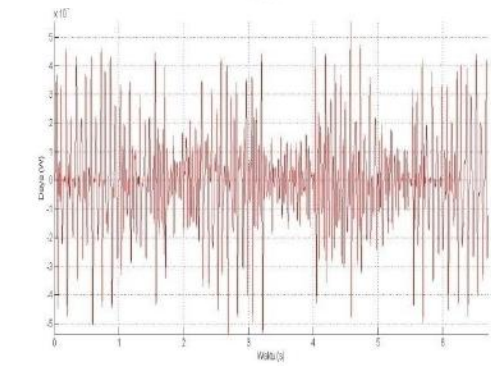
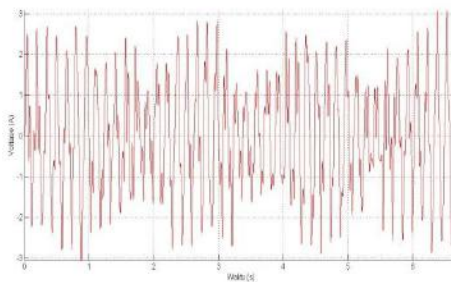
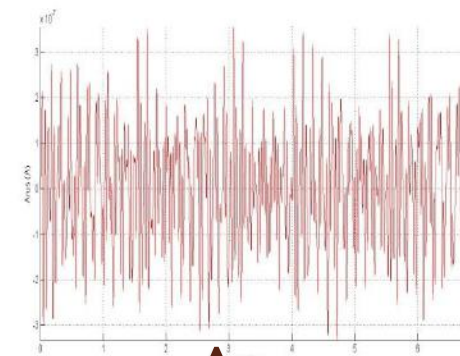
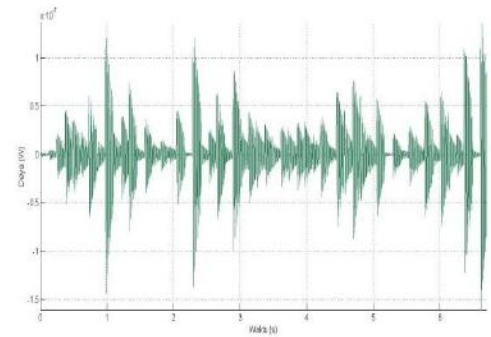
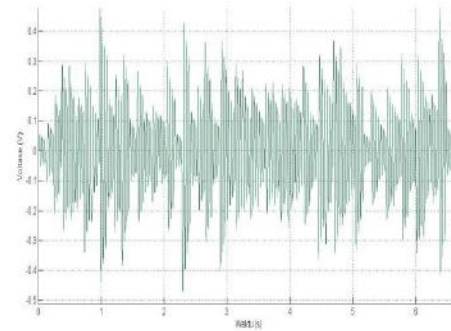
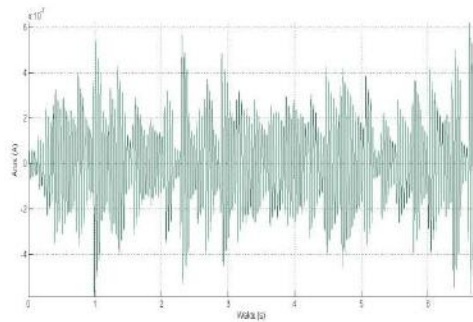
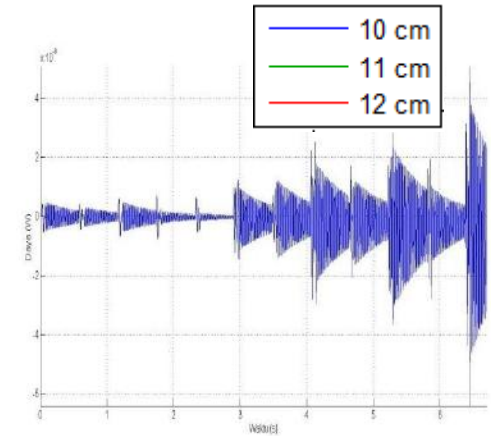
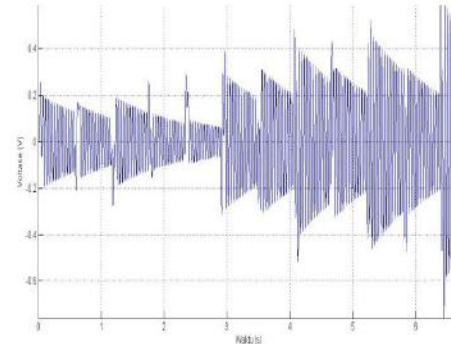
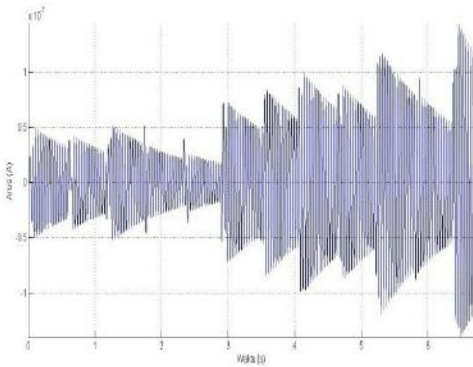
Grafik Xpzt Variasi Frekuensi Gelombang Air



Grafik Energi Listrik Variasi Massa Pendulum



Grafik Energi Listrik Variasi Panjang Lengan Pendulum

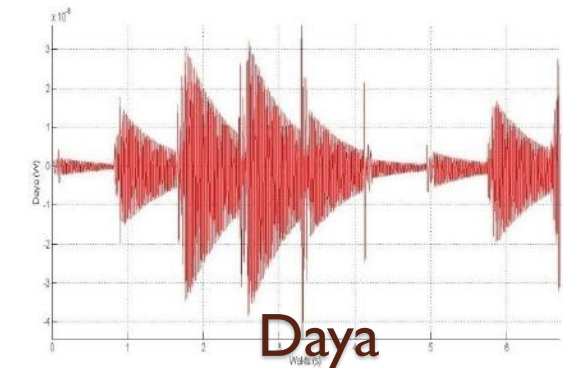
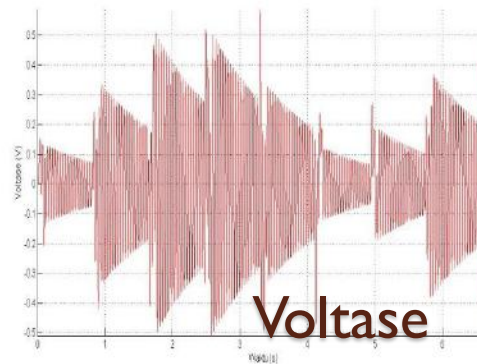
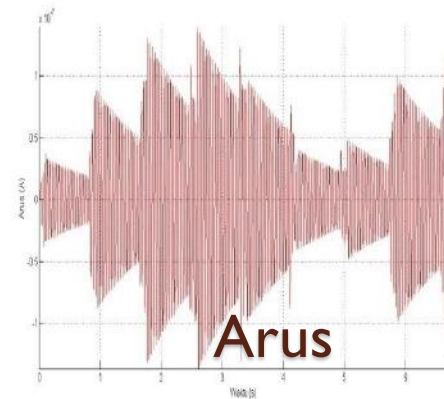
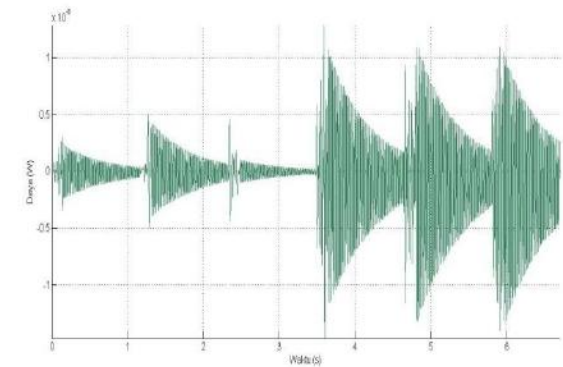
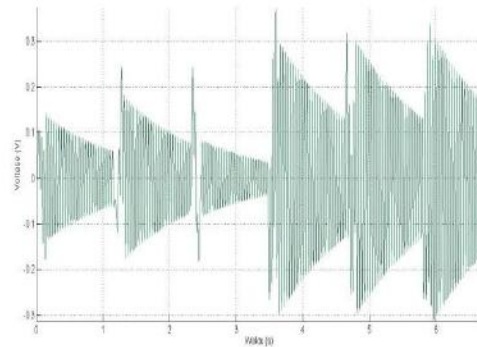
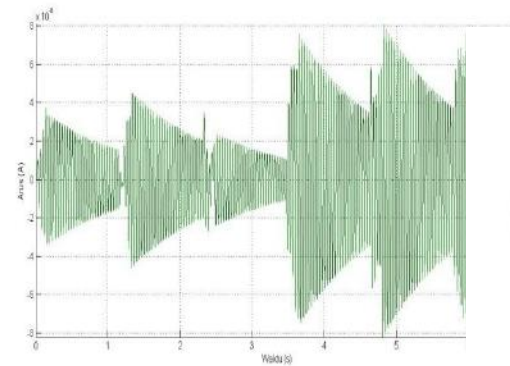
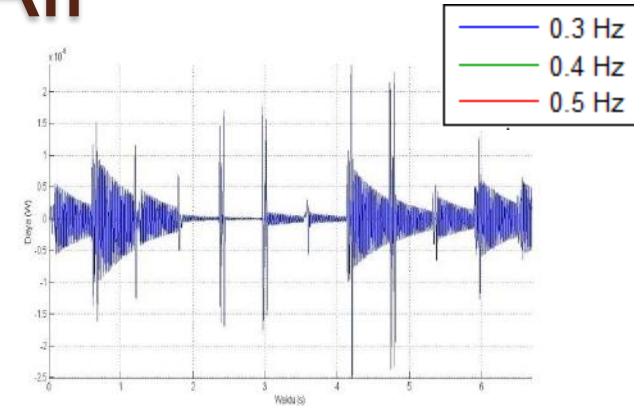
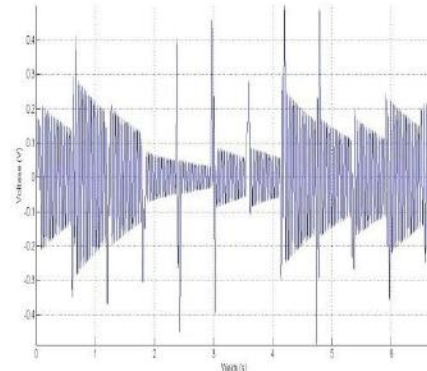
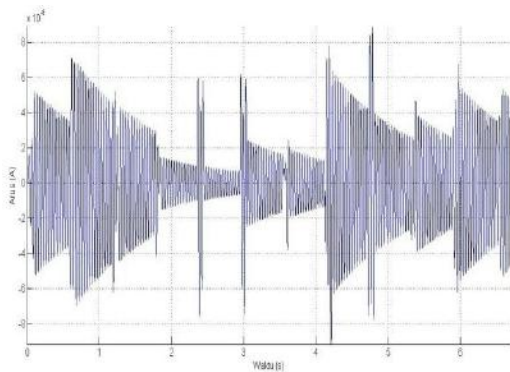


Arus

Voltase

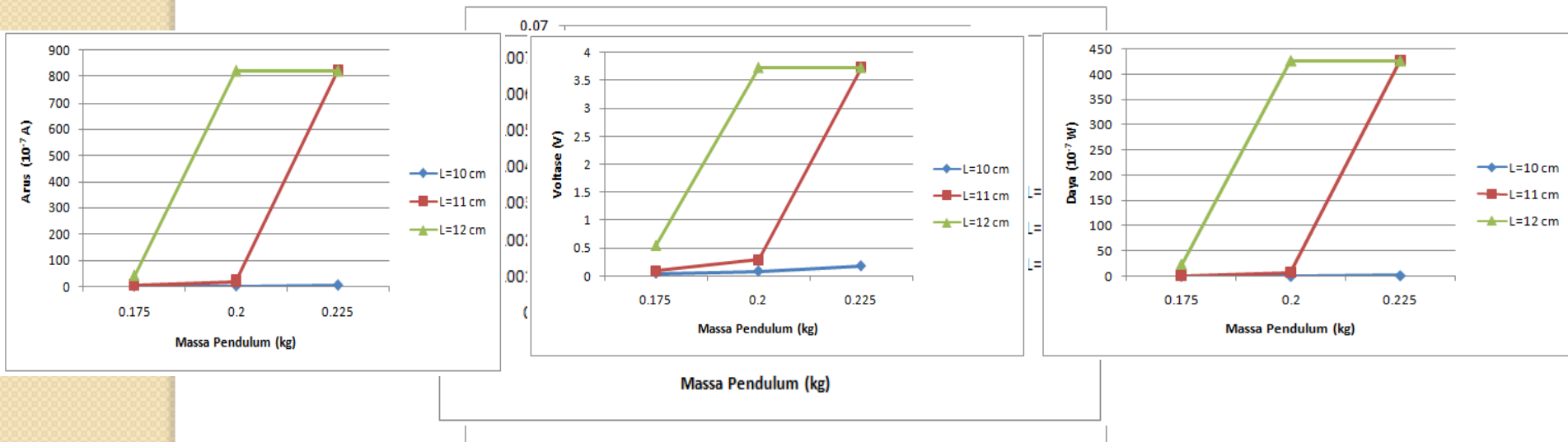
Daya

Grafik Energi Listrik Variasi Frekuensi Gelombang Air



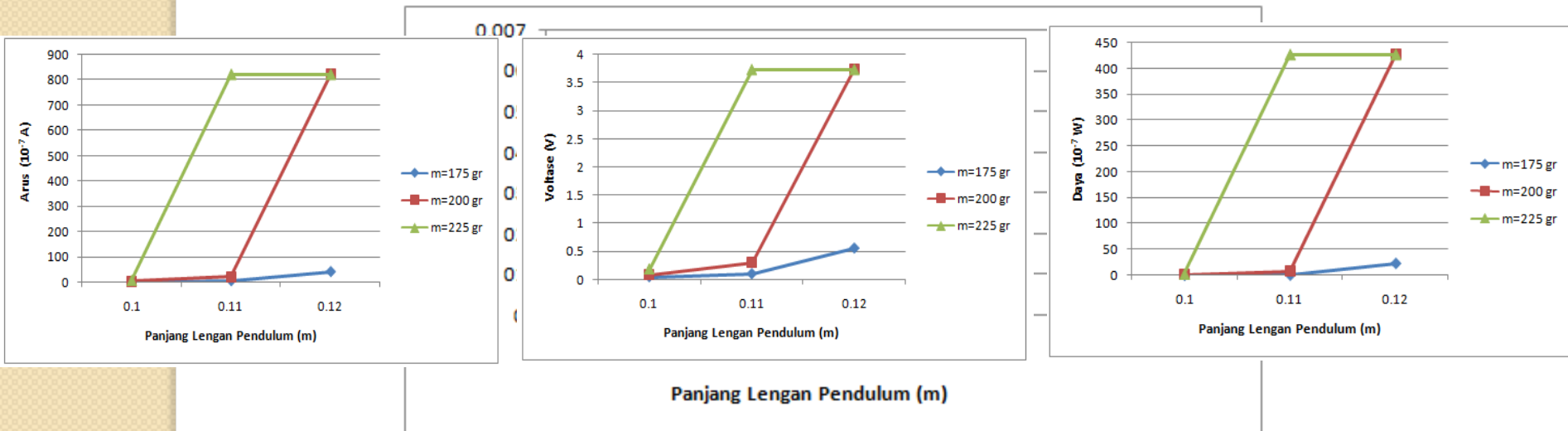
Variasi Massa Pendulum

G	Frekuensi Gelombang Air (Hz)	Panjang Lengan Pendulum (m)	Massa Pendulum (kg)	Perpindahan Sudut Pendulum (rad)	Waktu (s)
					10^{-7}
0.5		0.1	0.175	0.0096	0.136
			0.2	0.0105	0.305
			0.225	0.0121	1.645
		0.11	0.175	0.0106	0.434
			0.2	0.0125	6.285
			0.225	0.0183	27.54
		0.12	0.175	0.0147	2.541
			0.2	0.0175	27.54
			0.225	0.0317	27.54



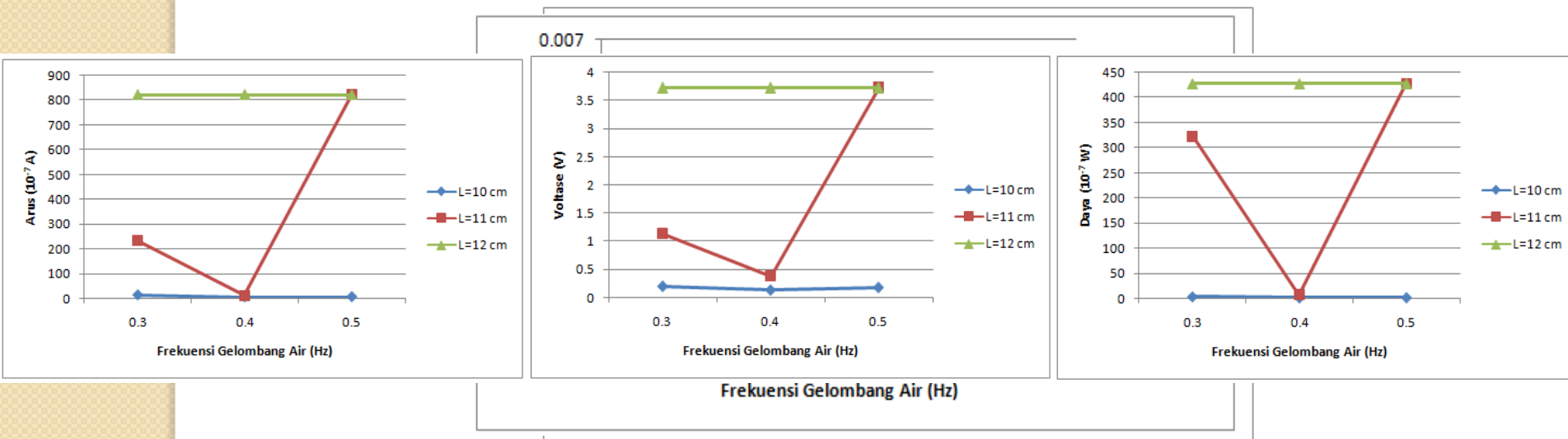
Variasi Panjang Lengan Pendulum

Frekuensi Gelombang Air (Hz)	Massa Pendulum (kg)	Panjang Lengan Pendulum (m)	Voltase (V)	Arus ($A \times 10^{-7}$)	Daya ($W \times 10^{-7}$)
0.5	0.175	0.1	0.0459	1.72	0.136
		0.11	0.0997	5.0921	0.434
		0.12	0.554	41.801	22.541
	0.2	0.1	0.0864	2.722	0.305
		0.11	0.2974	20.565	6.285
		0.12	3.7304	823.22	427.54
	0.225	0.1	0.1808	5.6144	1.645
		0.11	3.7304	823.22	427.54
		0.12	3.7304	823.22	427.54



Variasi Frekuensi Gelombang Air

Massa Pendulum (kg)	Panjang Lengan Pendulum (m)	Frekuensi Gelombang Air (Hz)	Voltase (V)	Arus ($A \times 10^{-7}$)	Daya ($W \times 10^{-7}$)
0.225	0.1	0.3	0.2009	13.395	3.2633
		0.4	0.1368	4.9626	1.266
		0.5	0.1808	5.6144	1.645
	0.11	0.3	1.1315	233.45	322.8
		0.4	0.3851	12.009	7.0461
		0.5	3.7304	823.22	427.54
	0.12	0.3	3.7304	823.22	427.54
		0.4	3.7304	823.22	427.54
		0.5	3.7304	823.22	427.54





KESIMPULAN

Kesimpulan

- Besar defleksi terbesar yaitu 6 mm dengan frekuensi pukul yang diterima material sebanyak 100 dalam satu gelombang, energi listrik tertinggi meliputi voltase sebesar 3.7304 V, arus 8.2322×10^{-5} A dan daya 4.2754×10^{-5} W pada saat massa pendulum 225 gr.
- Besar defleksi terbesar yaitu 6 mm dengan frekuensi pukul yang diterima material sebanyak 100 dalam satu gelombang, energi listrik tertinggi meliputi voltase sebesar 3.7304 V, arus 8.2322×10^{-5} A dan daya 4.2754×10^{-5} W pada saat panjang lengan pendulum 12 cm.
- Besar defleksi terbesar yaitu 6 mm dengan frekuensi pukul yang diterima material sebanyak 100 dalam satu gelombang, energi listrik tertinggi meliputi voltase sebesar 3.7304 V, arus 8.2322×10^{-5} A dan daya 4.2754×10^{-5} W pada saat frekuensi gelombang air 0.5 Hz.



SEKIAN
TERIMA KASIH